昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*, April 2012, 55(4): 426－434　　ISSN 0454-6296

松褐天牛肿腿蜂对寄主松褐天牛三龄幼虫的功能反应

张彦龙[1]，杨忠岐[1,*]，王小艺[1]，张翌楠[2]，吴成进[3]，马生福[3]，陆之贵[3]

（1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所，国家林业局森林保护学重点实验室，北京 100091；
2. 北京农业职业学院，北京 102442；3. 九华山风景区农村工作局，安徽池州 242811）

摘要：为评估松褐天牛肿腿蜂 *Sclerodermus* sp.（膜翅目：肿腿蜂科）对其寄主松褐天牛 *Monochamus alternatus* 3 龄幼虫的控制作用，通过功能反应试验，研究了松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛 3 龄幼虫补充营养时期的捕食功能反应和补充营养后的寄生功能反应以及肿腿蜂的密度效应。结果表明：当松褐天牛肿腿蜂密度固定为 1 头/缸时，肿腿蜂因补充营养对松褐天牛 3 龄幼虫的捕食功能反应符合 Holling Ⅱ型方程，1 头松褐天牛肿腿蜂雌蜂对松褐天牛 3 龄幼虫的最大致死量为 9.48 头，平均为 3.75 头；寄生作用的功能反应符合 Holling Ⅰ型方程，可知肿腿蜂的寄主密度阈限为 4 头就能满足补充营养和寄生的需要；在捕食和寄生两个阶段其对松褐天牛幼虫的寻找效应随着寄主密度的增加呈线性减弱。当松褐天牛幼虫密度固定为 30 头/缸时，随着肿腿蜂的密度增加，其补充营养阶段的捕食作用和之后的寄生作用均呈线性升高，寻找效应则呈线性减弱；由蜂虫比和致死总量的模型可得肿腿蜂与天牛幼虫比例为 0.9805(近 1∶1)时，可使松褐天牛幼虫死亡总数最大。这些结果表明，松褐天牛肿腿蜂是松褐天牛幼虫期的有效天敌。本研究为评价松褐天牛肿腿蜂对寄主的控制能力提供了基础数据和方法，并为其在野外的释放量提供了依据。

关键词：松褐天牛肿腿蜂；松褐天牛；捕食；寄生；功能反应；寻找效应；密度效应

中图分类号：Q968.1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2012)04-0426-09

Functional response of the parasitoid *Sclerodermus* sp. (Hymenoptera: Bethylidae) to the third instar larvae of host *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae)

ZHANG Yan-Long[1], YANG Zhong-Qi[1,*], WANG Xiao-Yi[1], ZHANG Yi-Nan[2], WU Cheng-Jin[3], MA Sheng-Fu[3], LU Zhi-Gui[3] (1. Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration of China, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102442, China; 3. Rural Affair Bureau of Jiuhua Mountain Scenic Area, Chizhou, Anhui 242811, China)

Abstract: In order to evaluate the control effects of *Sclerodermus* sp. (Hymenoptera: Bethylidae) on the 3rd instar larvae of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a method of functional response was used to test the effects of preying on hosts and parasitization, and the density effect of *Sclerodermus* sp. was also studied. The results showed that when the density of the bethylid wasps was 1 per cylinder, the functional response of *Sclerodermus* sp. preying on the 3rd instar larvae of *M. alternatus* could be described by Holling Ⅱ model. The maximum quantity of hosts killed by preying on hosts by one bethylid wasp was 9.48, and the average value was 3.75. The functional response of parasitization fitted Holling Ⅰ model, in which the threshold limit of the number of hosts is 4. The searching effects of preying on hosts and parasitization attenuated linearly with the increase of host density. When the density of *M. alternatus* larvae was 30 per cylinder, with the density of wasps increasing, the functional response of parasitization and preying on hosts increased linearly while the searching effect attenuated. A model between ratio of bethylids to beetle larvae and total lethality showed that when the ratio of the bethylids to larvae was 0.9805 (approximately 1∶1), the mortality of *M. alternatus* larvae was the maximal. The results suggest that *Sclerodermus* sp. is an effective natural enemy to *M. alternatus* larvae. This study

基金项目：国家林业公益性行业科研专项经费(200904025)；九华山松材线虫病生物控制技术推广示范项目(2009TK059)

作者简介：张彦龙，男，1981 年生，博士研究生，研究方向为害虫生物防治，E-mail：zhangyanlong1981@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: yzhqi@caf.ac.cn

收稿日期 Received: 2011-12-28；接受日期 Accepted: 2012-03-29

provides essential data and methods for evaluating control ability of *Sclerodermus* sp. on *M. alternatus*, and also supplies theoretical basis for its release amount in the field.

Key words: *Sclerodermus* sp.; *Monochamus alternatus*; preying; parasitization; functional response; searching effect; density effect

松褐天牛 *Monochamus alternatus* Hope 属于鞘翅目(Coleoptera)天牛科(Cerambycidae)，以前也称松墨天牛。在亚洲，它不仅能直接危害松树造成松树死亡(Mamiya, 1988)，也是松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus*(Steiner *et* Buhrer) Nickle 最主要的传播媒介(Morimoto and Iwasaki, 1972; Linit, 1988; Arakawa and Togashi, 2002; 张建军等, 2007)。很多研究者提出了通过控制松材线虫的传播媒介——松褐天牛以切断其传播途径的方法来防治松材线虫病(宋世涵等, 1991; 张连芹等, 1993; 来燕学等, 1996; 杨忠岐, 2004; Togashi, 2008)，但由于松褐天牛数量大，在树干中隐蔽性生活和危害，目前还没有对松褐天牛十分有效的防治技术和方法。在利用天敌肿腿蜂控制松褐天牛的方面进行了一些研究，如利用管氏肿腿蜂 *Sclerodermus guani* Xiao *et* Wu(萧刚柔和吴坚, 1983)进行林间释放防治松褐天牛(张连芹等, 1995; 陈沐荣等, 1996; 宋世涵等, 1998; 王功桂等, 2004; 程绍传等, 2007; Xu *et al.*, 2008)，取得了一定的防治效果。但由于长期人工繁育的管氏肿腿蜂雌蜂大部分无翅，扩散能力相对较弱，受自然条件限制较多，只能采用逐株释放法(康文通等, 2008)才会有效果。对管氏肿腿蜂生物学特性(Hong *et al.*, 2008)和寄生机理也有一定的研究，如学习经历对管氏肿腿蜂寻找行为和寄生行为影响(Li *et al.*, 2009)，寄主对管氏肿腿蜂生理和行为的影响等(Li *et al.*, 2010; Li and Sun, 2011)。利用川硬皮肿腿蜂 *S. sichuanensis*(萧刚柔, 1995)大面积防治松褐天牛的实例很少，2010－2011 年，本课题组在安徽九华山连续释放雌蜂 2 年，其对松褐天牛 2－3 龄幼虫的寄生率能达到 37.23%。也有研究发现利用马尾松枝条驯化后的川硬皮肿腿蜂对松褐天牛的寄生率有一定提高(张犀和周祖基, 2007; 张犀等, 2010)。

在云南新发现的松褐天牛肿腿蜂 *Sclerodermus* sp.(膜翅目：肿腿蜂科)(杨忠岐和段兆尧，未发表新种)对松褐天牛幼虫的寄生率可达 80% 以上。在室内初步观察松褐天牛肿腿蜂，发现其个体相对较大、雌雄性比高、寿命长、繁殖力强、扩散力强(多代繁殖以后的雌蜂大部分有翅，释放后有利于扩散)、搜索寄主能力和攻击性强(未发表资料)；该蜂不但能够寄生松褐天牛幼虫，而且在补充营养的过程中能杀死多头松褐天牛幼虫(未发表资料)，因此具有良好的生物防治应用前景。为了探索其对松褐天牛的防治效果，评价其对松褐天牛幼虫的寻找能力和控制能力，以及估算将其应用于林间生物防治时的释放量，室内测定了松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛 3 龄幼虫的捕食和寄生的功能反应，以及该蜂的密度对寻找效应的影响等，为利用其开展松褐天牛生物防治提供基础性资料。

1　材料和方法

1.1　供试虫源

松褐天牛 3 龄幼虫，2010 年 6 月从安徽省池州市九华山风景区(30°32′12.13″N, 117°46′30.42″E; 海拔 135 m)设立的松褐天牛诱木中劈出，另一部分是野外采集的松褐天牛卵孵化饲养后所得幼虫。

松褐天牛肿腿蜂，2010 年 4 月 5 日杨忠岐、段兆尧等采自云南省昆明动物园内马尾松上松褐天牛蛀道中，供试肿腿蜂为利用松褐天牛幼虫人工繁殖 2 代以上的该种群肿腿蜂。

1.2　松褐天牛肿腿蜂寄生行为、补充营养和寄生时间的观察和测定

将直径为 5 cm 左右的采自健康马尾松的枝条锯成 30 cm 长的枝段，两端用石蜡封住，防止失水；用美工刀沿纵长方向将木段表皮刻一个横"U"形切口，从"U"形切口的开口端用刀撬开使韧皮部和木质部分离，不切断；然后用凿子在木质部挖长宽为 1 cm×2 cm、深 0.5 cm 的凹槽。将松褐天牛 3 龄幼虫接入槽内(图 1：A)，再将被撬起的"U"形树皮合上，用订书钉订住开口端。1 个马尾松枝段刻 10 个这样的刻槽，接入 10 头松褐天牛的 3 龄幼虫。然后将该木段放入单口玻璃缸中(直径 20 cm，高 40 cm)，每个玻璃缸接入已交配过的肿腿蜂雌蜂 1 头，重复 10 次，用 80 目双层纱网封口防止肿腿蜂逃逸(图 1：B)。每天 17:00－19:00 打开木段上的"U"形切口观察天牛幼虫和肿腿蜂的活动情况 1 次，记录每个处理的肿腿蜂补充营养阶段结束时间(接蜂

$F = 17.7437$, $P = 0.0244$, $r = 0.9249$）

寄生作用的寻找效应按数据处理方法中的公式(4)计算。结果见表 3，可得寻找效应随着寄主密度上升而降低，经过拟合，寄主密度 N 和寻找效应 E 符合线性方程，如下：

$y = -0.0236x + 0.3351$　（$df = 1, 3$; $F = 17.9582$, $P = 0.0241$, $r = 0.9257$）

表 3　不同寄主密度下捕食致死作用和寄生致死作用的寻找效应

Table 3　The searching effect of preying on hosts and parasitization under different host density

寄主密度(头/缸) Host density (number of individuals/cylinder)	捕食 Female preying		寄生 Parasitization	
	平均致死头数(头/缸) Mean number of hosts killed by preying (number of individuals/cylinder)	寻找效应 Searching effect	平均寄生头数(头/缸) Mean number of hosts parasitized (number of individuals/cylinder)	寻找效应 Searching effect
1	0.75	0.7500	0.25	0.2877
2	1.25	0.6250	0.50	0.2877
4	2.50	0.6250	1.00	0.2877
6	3.50	0.5833	1.00	0.1823
8	3.75	0.4688	1.00	0.1335

2.4　松褐天牛肿腿蜂密度对松褐天牛致死作用和寄生作用的影响

2.4.1　不同密度的松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛控制作用：当寄主密度为 30 头不变时(猎物足量)，随着肿腿蜂密度的增加，寄主的致死数量显著上升($df = 4, 15$; $F = 76.0780$, $P < 0.001$)(表 4)，二者呈明显的线性关系：$y = 2.6723x + 1.6265$ ($df = 1, 3$; $F = 1\,997.6223$, $P < 0.001$, $r = 0.9992$)。

当寄主密度固定不变时，随着肿腿蜂密度的增加，被寄生的寄主数量上升，各处理间的寄生数量差异显著($df = 4, 15$, $F = 20.9750$, $P < 0.001$)见表 4，二者呈明显线性关系：$y = 0.8049x + 0.4695$ ($df = 1, 3$; $F = 836.3250$, $P < 0.001$, $r = 0.9982$)。寄生蜂不同密度下的平均产卵量无显著差异($df = 4, 15$; $F = 2.2930$, $P = 0.1074$)。说明在寄主足够时，肿腿蜂的密度对产卵量的影响很小，1 头肿腿蜂在 1 头松褐天牛 3 龄幼虫身上平均产量最大为 7.25 粒。

当寄主密度为 30 头时，随着蜂虫比例的增大，被致死和被寄生的总数量上升，但是差异显著($df = 4, 15$; $F = 143.557$, $P < 0.001$)，当上升到一定的程度时开始下降，趋势符合二次曲线方程，根据二次曲线拟合后方程为：$y = -62.7014x^2 + 122.9564x + 1.1722$ ($df = 4, 15$, $F = 27\,474.5438$, $P < 0.001$, $r = 0.9981$)，由二次曲线方程可求得 y 取最大值时的 x 值为 0.9805，接近 1∶1。表明此比例为野外释放肿腿蜂生物防治时参考的最合适比例。

2.4.2　肿腿蜂密度对寻找效应的影响：分别利用(3)和(4)式求得寻找效应 E 值(表 5)，然后根据不同密度下的肿腿蜂对松褐天牛 3 龄幼虫致死作用和寄生作用均按(5)式模型拟合，式中 P 已知为肿腿蜂密度 1，2，4，6，8 头/缸。(5)式两边取对数为 $\ln E = \ln Q - m \times \ln P$ 经线性回归可求得 m 和 Q。随着松褐天牛肿腿蜂密度增加，雌蜂补充营养对松褐天牛 3 龄幼虫的致死作用的寻找效应逐渐降低(表 5)，寻找效应方程为：$E = 0.1323 \times P^{-0.1622}$ ($df = 1, 3$, $F = 804.4986$, $P = 0.0001$, $r = 0.9981$)。松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛 3 龄幼虫寄生作用的寻找效应随着肿腿蜂密度的增加逐渐降低(表 5)，寻找效应方程为：$E = 0.0404 \times P^{-0.1197}$ ($df = 1, 3$; $F = 11.7712$, $P = 0.0415$, $r = 0.8927$)。

3　结论与讨论

肿腿蜂在防治蛀干害虫中可发挥重要作用(Pérez-Lachaud, 1998; Damon and Valle, 2002; Infante *et al.*, 2003)，通过功能反应的方法测定松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛控制能力能较准确的获得肿腿蜂的寻找能力和处理效率，为评价其对害虫的控制效能提供依据。功能反应的数据也能为生产上肿腿蜂的释放量提供参考。

本试验选择在松褐天牛的 3 龄幼虫时期，有研究称寄主的个体大小对管氏肿腿蜂的寄生有一定影

表 4 不同密度的松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛幼虫的控制作用(处理后 21 d)

Table 4 Control effect of *Sclerodermus* sp. at different densities on *Monochamus alternatus* larvae (21 d after treatment)

天敌密度(头/缸) Parasitoid density (number of individuals/cylinder)	平均致死数(头/缸) Mean number of hosts killed by preying (number of individuals/cylinder)	平均寄生数(头/缸) Mean number of hosts parasitized (number of individuals/cylinder)	共计(头/缸) Total number of individuals in per cylinder	平均卵量(粒/头) Mean number of eggs laid per female
1	4.00 ±0.00 e	1.25 ±0.43 c	5.25 ±0.50 e	5.25 ±1.09 a
2	7.00 ±0.71 d	2.00 ±0.00 c	9.00 ±0.81 d	7.00 ±0.71 a
4	12.75 ±1.30 c	3.75 ±0.43 b	16.50 ±1.91 c	7.00 ±0.71 a
6	17.75 ±2.17 b	5.50 ±0.87 a	23.25 ±2.87 b	7.00 ±1.22 a
8	22.75 ±2.17 a	6.75 ±1.64 a	29.50 ±0.50 a	7.25 ±0.83 a

寄主密度为 30 头/缸; 表 5 同。The host density is 30 individuals per cylinder. The same for Table 5.

表 5 不同肿腿蜂密度下捕食和寄生的寻找效应

Table 5 The searching effect of the female preying on host and parasitization under different wasp density

寄生蜂密度(头/缸) Parasitoid density (number of individuals/cylinder)	捕食 Female preying		寄生 Parasitization	
	平均致死头数(头/缸) Mean number of hosts killed by preying (number of individuals/cylinder)	寻找效应 Searching effect	平均寄生头数(头/缸) Mean number of hosts parasitized (number of individuals/cylinder)	寻找效应 Searching effect
1	4.00	0.1333	1.25	0.0426
2	7.00	0.1167	2.00	0.0345
4	12.75	0.1062	3.75	0.0333
6	17.75	0.0986	5.50	0.0337
8	22.75	0.0948	6.75	0.0319

响。在产卵前,雌蜂更喜欢攻击在一定个体范围中较大的寄主幼虫,但是需要消耗更多的时间,容易导致成虫死亡和寄生率降低(Liu *et al*., 2011)。松褐天牛 3 龄幼虫个体相对较小,此时的天牛还没有进入木质部取食危害,有利于肿腿蜂寻找和寄生。松褐天牛肿腿蜂对松褐天牛 3 龄幼虫的控制作用可分为 2 个阶段:雌蜂补充营养阶段的取食致死和随后的寄生致死寄主。在本研究过程中发现,所有的非寄生死亡的天牛均为干瘪状,其上无肿腿蜂所产的卵。松褐天牛数量足够大时,肿腿蜂能将补充营养的天牛和用于寄生的天牛明确分开,以保证后代有足够的营养;当其寄主天牛数量不足时,肿腿蜂只补充营养而不产卵或很少产卵。另外肿腿蜂在寄主体表产卵后,仍然在寄主周围保护卵和幼虫,并且随时清理感病卵或幼虫,这显示出松褐天牛肿腿蜂具有很强的抚幼习性,与 Hardy 和 Blackburn (1991)对肿腿蜂抚幼习性描述符合。

当松褐天牛肿腿蜂密度固定时,由补充营养取食而致死寄主的功能反应符合 Holling Ⅱ型圆盘方程,由方程所计算出的理论数据说明松褐天牛肿腿蜂是控制松褐天牛具有很大潜力的天敌,其规模化人工大量繁殖可用于松褐天牛的防治上。其寄生致死功能反应符合 Holling Ⅰ型圆盘方程,由方程可得当肿腿蜂和天牛的比例为 1∶4 时,理论上寄主(猎物)已经足够肿腿蜂补充营养和寄生所用;此比例大大低于王功桂等(2004)和程绍传等(2007)利用管氏肿腿蜂在室内所做的研究结果 4∶1 的比例,后者在室内一个侵入孔接 4 头蜂,寄生率能达 63.92%;同时低于康文通等(2008)在野外释放管氏肿腿蜂 3∶1 的释放比例。由于蜂虫比 1∶4 这个比例是在试验室内防止逃逸的情况下所得结论,所以野外释放时应注意适当加大肿腿蜂的数量比例。当寄主密度不变时,随着寄生蜂密度增加,寄主因被补充营养致死数量呈直线上升趋势;寄生数量也随着寄生蜂密度增加而直线上升,但后者直线斜率小于前者。在寄主(猎物)充足情况下,单个肿腿蜂补充营养所杀死的寄主数量是固定的,平均为 3.01 头。姚万军和杨忠岐(2008)研究表明,如果寄主个体较小,管氏肿腿蜂在补充营养过程中会杀死较多的寄主才能完成补充营养阶段;而肿腿蜂补充营养

完成后，只能在 1 头天牛幼虫体上产卵寄生。单个肿腿蜂雌蜂从补充营养到寄生成功平均需 3.98 头 3 龄松褐天牛幼虫，所以野外释放时，蜂虫比应以 1∶3.98为最低限。由蜂虫比和总致死量建立的二次曲线方程可得蜂虫比为 1∶1 时，总致死量将最高，所以野外放蜂时，建议蜂虫比应不高于 1∶1。

当肿腿蜂密度固定时，致死作用的寻找效应随着寄主密度的增加而呈线性下降，这与王小艺等(2010)的研究结果相符。因为在相同的空间内，随着寄主密度增加，单位空间内的寄主密度相应增加，缩短了肿腿蜂寻找时间和所需能量，所以寻找效应下降。寄生作用的寻找效应随着寄主密度上升而降低，符合线性方程，原因同上。当寄主密度固定时，不同密度下的寄生蜂对松褐天牛低龄幼虫致死作用和寄生作用的寻找效应均随着寄生蜂密度增加而减弱，这可能是因为在本研究中限制逃逸的固定空间所致，猎物密度不变，寄生蜂密度越大，寻找到一个猎物所需的时间和耗费的能量会减少，因此导致寻找效应减弱。

本研究将肿腿蜂补充营养取食和寄生的时间通过试验的方法测定出来，计算出来的时间用于分别计算取食致死功能反应和寄生功能反应，这样更符合实际情况。将公式(1)中 T_s 和(2)的 T 与实际试验的处理时间分离开来，减小了误差，这与王小艺等(2010)有所不同。

与当前我国防治松褐天牛普遍使用的川硬皮肿腿蜂相比，松褐天牛肿腿蜂的优势更明显：其自然界的寄主是松褐天牛，不需要驯化；产卵量高；补充营养时致死的松褐天牛数量多；大多数雌蜂具翅，有利于扩散。与管氏肿腿蜂相比，个体较大且生命力强，室内饲养多代的雌蜂未出现翅的退化，这些特点十分有利于生物防治和提高生物防治效果。但是目前对于松褐天牛肿腿蜂还有很多方面有待于进一步研究，例如自然地理分布，野外释放后持续控制效果等。本研究显示，松褐天牛肿腿蜂是控制我国重大害虫和松材线虫传播媒介——松褐天牛的优秀天敌，值得在生产防治中大力推广应用。

参考文献（References）

Arakawa Y, Togashi K, 2002. Newly discovered transmission pathway of *Bursaphelenchus xylophilus* from males of the beetle *Monochamus alternatus* to *Pinus densiflora* trees via oviposition wounds. *Journal of Nematology*, 34(4): 396 - 404.

Chen MR, Song SH, Zhang LQ, Zhang E, Li QH, Yang L, 1996. Indirect control of pine wood nematode by releasing *Scleroderma guani*. *Chinese Journal of Biological Control*, 12(2): 52 - 54. [陈沐荣，宋世涵，张连芹，张锷，黎桥华，杨亮，1996. 释放管氏肿腿蜂防治松材线虫病的研究. 中国生物防治，12(2): 52 - 54]

Cheng SC, Yu JY, Zhu XE, Wu YK, Huang HY, Ding ZG, 2007. Prarasitism of *Scleroderma guani* on the larva of *Monochamus alternatus* in the xylem of *Pinus massoniana* in lab and in the field. *Forest Pest and Disease*, 26(6): 9 - 12. [程绍传，余金勇，朱秀娥，吴跃开，黄海勇，丁治国，2007. 管氏肿腿蜂在两种试验条件下对松褐天牛入木幼虫的寄生. 中国森林病虫，26(6): 9 - 12]

Damon A, Valle J, 2002. Comparison of two release techniques for the use of *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethylidae), to control the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in Soconusco, southeastern Mexico. *Biological Control*, 24(2): 117 - 127.

Ding YQ, 1980. Principles and Application of Insect Population Mathematical Ecology. Science Press, Beijing. 197 - 213. [丁岩钦，1980. 昆虫种群数学生态学原理与应用. 北京：科学出版社. 197 - 213]

Ding YQ, 1994. Insect Mathematical Ecology. Science Press, Beijing. 252 - 317. [丁岩钦，1994. 昆虫数学生态学. 北京：科学出版社. 252 - 317]

Hardy ICW, Blackburn TM, 1991. Brood guarding in a bethylid wasp. *Ecological Entomology*, 16(1): 55 - 62.

Hassell MP, Rogers DJ, 1972. Insect parasite responses in the development of population models. *Journal of Animal Ecology*, 41(3): 661 - 676.

Hong JI, Koh SH, Chung YJ, Shin SC, Kim GH, Choi KS, 2008. Biological characteristics of *Sclerodermus harmandi* (Hymenoptera: Bethylidae) parasitized on cerambycid. *Korean Journal of Applied Entomology*, 47(2): 133 - 139.

Infante F, Mumford J, Garcia-Ballinas A, 2003. Predation by native arthropods on the African parasitoid *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethylidae) in coffee plantations of Mexico. *Florida Entomologist*, 86(1): 86 - 88.

Kang WT, Tang CS, Liang N, Chen SQ, Huang JS, Chen QL, Chen JW, He XY, Yang X, 2008. Releasing *Scleroderma guani* to control *Monochamus alternatus*. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 37(6): 575 - 579. [康文通，汤陈生，梁农，陈水砻，黄金水，陈清良，陈金渭，何学友，杨希，2008. 应用管氏肿腿蜂林间防治松墨天牛. 福建农林大学学报(自然科学版)，37(6): 575 - 579]

Lai YX, Zhang SY, Huang HZ, Lu ZT, Shi YY, 1996. *Monochamus alternatus* withered pine. *Journal of Zhejiang Forest College*, 13(1): 75 - 81. [来燕学，张世渊，黄华正，吕兆田，史迎寅，1996. 松墨天牛在松树枯萎中的作用. 浙江林学院学报，13(1): 75 - 81]

Li L, Miller DR, Sun JH, 2009. The influence of prior experience on preference and performance of a cryptoparasitoid *Scleroderma guani* (Hymenoptera: Bethylidae) on beetle hosts. *Ecological Entomology*, 34: 725 - 734.

Li L, Sun JH, 2011. Host suitability of a gregarious parasitoid on beetle hosts: flexibility between fitness of adult and offspring. *PLoS ONE*,

6(4): e18563.

Li L, Wei W, Liu ZD, Sun JH, 2010. Host adaptation of a gregarious parasitoid *Sclerodermus harmandi* in artificial rearing. *BioControl*, 55(4): 465 – 472.

Linit MJ, 1988. Nematode-vector relationships in the pine wilt disease system. *Journal of Nematology*, 20(2): 227 – 235.

Liu ZD, Xu BB, Li L, Sun JH, 2011. Host-size mediated trade-off in a parasitoid *Sclerodermus harmandi*. *PLoS ONE*, 6(8): e23260.

Mamiya Y, 1988. History of pine wilt disease in Japan. *Journal of Nematology*, 20(2): 219 – 226.

Morimoto K, Iwasaki A, 1972. Role of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) as a vector of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae). *J. Jpn. For. Soc.*, 54: 177 – 183.

Pérez-Lachaud G, 1998. A new bethylid attacking the coffee berry borer in Chiapas (Mexico) and some notes on its biology. *Southwestern Entomologist Scientific Note*, 23(3): 287 – 288.

Song SH, Zhang LQ, Chen MR, Wei XQ, Wang BZ, Yang L, Xie C, Chen JW, 1998. Study on the control of pine wood nematode by releasing *Scleroderma guani*. *Forestry Science and Technology of Guangdong*, 14(3): 38 – 42. [宋世涵, 张连芹, 陈沐荣, 魏小琴, 王炳真, 杨亮, 谢诚, 陈纪文, 1998. 利用管氏肿腿蜂防治松材线虫病的研究. 广东林业科技, 14(3): 38 – 42]

Song SH, Zhang LQ, Huang HH, Cui XM, 1991. A preliminary study on biological characteristics of *Monochamus alternatus*. *Forest Science and Technology*, (6): 9 – 13. [宋世涵, 张连芹, 黄焕华, 崔锡明, 1991. 松墨天牛生物学的初步研究. 林业科技通讯, (6): 9 – 13]

Tang QY, Feng MG, 2007. DPS Data Processing System: Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining. 2nd ed. Science Press, Beijing. 75 – 128, 656 – 665. [唐启义, 冯明光, 2007. DPS 数据处理系统: 实验设计、统计分析及数据挖掘(第 2 版). 北京: 科学出版社. 75 – 128, 656 – 665]

Togashi K, 2008. Vector-nematode relationships and epidemiology in pine wilt disease. In: Zhao BG, Futai K, Sutherland JR, Takeuchi Y eds. Pine Wilt Disease. Springer, Tokyo, Japan. 162 – 184.

Wang GG, Zhou LH, Wang CX, Ma DJ, Lu B, 2004. Techniques of using *Scleroderma guani* against *Monochamus alternatus*. *Forest Pest and Disease*, 3: 32 – 34. [王功桂, 周灵会, 王长旭, 马德君, 卢斌, 2004. 管氏肿腿蜂防治松褐天牛技术. 中国森林病虫, 3: 32 – 34]

Wang XY, Yang ZQ, Tang YL, Jiang J, Gao C, Liu YC, Zhang XW, 2010. Parasitism of *Sclerodermus pupariae* (Hymenoptera: Bethylidae) on the young larvae of *Massicus raddei* (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomogica Sinica*, 53(6): 675 – 682. [王小艺, 杨忠岐, 唐艳龙, 姜静, 高纯, 刘云程, 张显文, 2010. 白蜡吉丁肿腿蜂对栗山天牛低龄幼虫的寄生作用. 昆虫学报, 53(6): 675 – 682]

Xiao GR, 1995. Two new species of the genus *Scleroderma* from China (Hymenoptera, Bethylidae). *Forest Research, Memoir of the Academic Symposium of Forest Entomology, the Entomological Society of China*: 1 – 5. [萧刚柔, 1995. 天牛的两种新寄生天敌——川硬皮肿腿蜂及海南硬皮肿腿蜂(膜翅目: 肿腿蜂科). 林业科学研究, 中国昆虫学会森林昆虫学术讨论会专刊: 1 – 5]

Xiao GR, Wu J, 1983. A new species of *Scleroderma* from China. *Scientia Silvae Sinicae, Memoir of Forest Entomology*: 81 – 84. [萧刚柔, 吴坚, 1983. 防治天牛的有效天敌——管氏肿腿蜂(膜翅目: 肿腿蜂科). 林业科学, 昆虫学专辑: 81 – 84]

Xu FY, Xu KQ, Xie CX, Zhang P, Shin SC, Cheong YJ, 2008. Studies on *Scleroderma guani* to control the pine sawyer beetle, *Monochamus alternatus*. In: Mota MM, Vieira P eds. Pine Wilt Disease: A Worldwide Threat to Forest Ecosystems. Part VII. Springer Science + Business Media B. V., Berlin. 379 – 388.

Yang ZQ, 2004. Advance in biocontrol researches of the important forest insect pests with natural enemies in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 20(4): 221 – 227. [杨忠岐, 2004. 利用天敌昆虫控制我国重大林木害虫研究进展. 中国生物防治. 20(4): 221 – 227]

Yao WJ, Yang ZQ, 2008. Studies on biological control of *Anoplophora glabripennis* (Coleopetra: Cerambycidae) with a parasitoid, *Sclerodemus guani* (Hymenoptera: Bethylidae). *Journal of Environmental Entomology*, 30(2): 127 – 134. [姚万军, 杨忠岐, 2008. 利用管氏肿腿蜂防治光肩星天牛技术研究. 环境昆虫学报, 30(2): 127 – 134]

Zhang JJ, Zhang RZ, Chen JY, 2007. Species and their dispersal ability of *Monochamus* as vectors to transmit *Bursaphelenchus xylophilus*. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 24(3): 350 – 356. [张建军, 张润志, 陈京元, 2007. 松材线虫媒介昆虫种类及其扩散能力. 浙江林学院学报, 24(3): 350 – 356]

Zhang LQ, Song SH, Huang HH, Chen MR, Xu SD, Yu HB, Wei XQ, Li QH, He F, 1993. The control technology of *Monochamus alternatus* as the vector of *Bursaphelenchus xylophilus*. *Forest Science and Technology*, (9): 6 – 7. [张连芹, 宋世涵, 黄焕华, 陈沐荣, 徐世多, 余海斌, 魏小琴, 黎侨华, 何发, 1993. 松材线虫主要传播媒介——松墨天牛防治技术的研究. 林业科技通讯, (9): 6 – 7]

Zhang LQ, Song SH, Zhang E, Chen MR, Xu SD, Yu HB, Wei XQ, He F, Li QH, 1995. Study on the integrated control of the pine sawyer *Monochamus alternatus* in Shenzhen area. *Natural Enemies of Insects*, 17(1): 21 – 26. [张连芹, 宋世涵, 张锷, 陈沐荣, 徐世多, 余海斌, 魏小琴, 何发, 黎侨华, 1995. 深圳地区松墨天牛综合防治的研究. 昆虫天敌, 17(1): 21 – 26]

Zhang X, Zhou ZJ, 2007. Controlling *Monochamus alternatus* by domestication of *Scleroderma sichuanensis*. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 28(4): 16 – 20. [张犀, 周祖基, 2007. 驯化川硬皮肿腿蜂生物防治松褐天牛. 四川林业科技, 28(4): 16 – 20]

Zhang X, Zhou ZJ, Yang CP, Zhou YJ, Hu X, 2010. Host selectivity of *Sclerodermus sichuanensis* reared by *Monochamus alternatus* larvae. *Forest Research*, 23(5): 756 – 761. [张犀, 周祖基, 杨春平, 周宇爝, 胡霞, 2010. 用松褐天牛幼虫培育的川硬皮肿腿蜂种群寄主选择性变化. 林业科学研究, 23(5): 756 – 761]

(责任编辑: 武晓颖)